УДК 553.982:504.54(571.16)

ВЛИЯНИЕ БОЛОТ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СТОК В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕЙ ОБИ (В ПРЕДЕЛАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

О.Г. Савичев

Томский политехнический университет
E-mail: OSavichev@mail.ru

Проведен анализ химического состава болотных вод бассейна Средней Оби в пределах Томской области за период с 1960-х гг. по 2003 г. Получены данные о средних концентрациях макрокомпонентов, биогенных и органических веществ в болотных водах при разной антропогенной нагрузке. Показано, что уровень содержания изученных веществ в болотных водах определяется интенсивностью водообмена, типом водного питания болота и физико-химическими свойствами торфов. Установлено, что антропогенное влияние на химический состав болотных вод носит локальный характер, причем наиболее значительные изменения содержаний главных ионов, биогенных веществ и величины химического потребления кислорода наблюдаются при осушении торфяных залежей, в местах аварийных разливов на объектах нефтедобычи и непосредственно у шламовых амбаров.

Введение

Территория Томской области характеризуется высокой заболоченностью (более 30 % площади). Очевидно, что столь широкое распространение болот не могло не сказаться на формировании химического состава поверхностных и подземных вод региона. Вместе с тем, многие вопросы, связанные с выявлением роли болот в гидрогеохимических процессах, решены далеко не в полной мере [1–3]. Причин тому несколько, причем немаловажно то обстоятельство, что понятие о болоте, как водном объекте, является не бесспорным (до 1990-х гг. в соответствии с российскими нормативными документами болота к водным объектам не относились). Тем не менее, в настоящее время требуется незамедлительное решение целого ряда геоэкологических, гидрохимических и гидрологических задач, например, прогноз заболачивания Западно-Сибирской равнины и изменений гидроклиматических условий в бассейне р. Оби, определение допустимых воздействий на водно-болотные системы, расчет «фоновых» концентраций веществ в болотных водах и водотоках, формирующихся на заболоченных территориях и т.д. Однако, прежде чем их решить, целесообразно выявить и проанализировать общие черты и различия в химическом составе болотных вод, распространенных в естественных и нарушенных болотных ландшафтах рассматриваемой территории.

С этой целью были проведены обобщение и анализ материалов Томского политехнического университета (ТПУ), Томского филиала Института геологии нефти и газа СО РАН (ТФ ИГНГ), НИИ биологии и биофизики при Томском государственном университете (НИИББ), ГУП Территориальный центр Томскгеомониторинг (ТЦ Томскгеомониторинг), АО «ТомскНИПИНефть ВНК», Томской геолого-разведочной экспедиции (ТГРЭ), Сибирского НИИ торфа СО РАСХН (СибНИИТ), Института химии нефти СО РАН (ИХН). Объектом исследований являлись болотные воды в пределах Томской области.

Методика исследований

Методика исследований включала в себя отбор проб болотных вод и вод каналов систем осушения, последующее определение их химического состава, обобщение и анализ полученных материалов и данных других организаций и исследователей. Полевые работы выполнялись при участии автора в течение 1997–2003 гг. в ТФ ИГНГ СО РАН, ТПУ и ТЦ Томскгеомониторинг. Отбор проб болотных вод проводили на Васюганском и Обском болотах, болотах у п. Белый Яр, г. Колпашева, г. Стрежевого, в Томском районе и бассейне р. Васюгана из слоя 10...30 см от поверхности, отбор проб воды из каналов – из слоя 20...50 см от поверхности. Определение содержаний макрокомпонентов, железа, соединений азота, нефтепродуктов, фенолов, величины химического потребления кислорода (ХПК) проводили в аккредитованных лабораториях ТПУ и ТЦ Томскгеомониторинг по аттестованным методикам. Характеристика используемых методов анализа природных вод приведена в работе [4]. Сопоставление данных, полученных в ТПУ и ТЦ Томскгеомониторинг, показало, что статистически они не различимы при доверительном уровне 95 %, вследствие чего допустимо их объединение. Кроме этой информации использовали опубликованные материалы о макрокомпонентном составе болотных вод на территории Томской области, полученные в ТПУ в 1960-е гг. [5], а также данные НИИББ и Областного государственного учреждения "Облкомприрода" о содержании главных ионов и NH_4^+ в болотных водах за 1995–2000 гг. [6]. Следует отметить, что обобщение проводили только по данным о значениях pH, содержаниях макрокомпонентов и ионов аммония. Для анализа содержаний железа, нефтепродуктов, фенолов и величины ХПК использовали только материалы ТЦ Томскгеомониторинг, ТФ ИГНГ СО РАН и ТПУ за 1997–2003 гг.

Химический состав болотных вод

Болотные воды на рассматриваемой территории в естественном состоянии характеризуются в целом как слабо кислые (верховые и переходные, реже низинные) или нейтральные (низинные), пресные с малой и средней минерализацией (до 200 и 200...500 мг/дм^3 соответственно, табл. 1). Различия в химическом составе вод характерны не только для разных типов болот, но и внутри типов для болот с преобладанием тех или иных микроландшафтов (табл. 2).

Сумма главных ионов ($\Sigma_и$) в водах верховых и переходных болот обычно заметно меньше, чем в низинных болотах, причем в катионном составе вод верховых болот значительно возрастает доля ионов Na^+ и Mg^{2+}, а в анионном – резко усиливается роль Cl^- и SO_4^{2-}. При этом наблюдаются две достаточно хорошо выраженные зависимости минерализации болотных вод от интенсивности водообмена для верховых (и переходных) и низинных болот (табл. 2). Содержание органических веществ (ОВ) в болотных водах составляет около 25...50 мгС/дм³. Значительная их часть представлена фульвокислотами, концентрация которых, согласно [7], в водах верховых болот в среднем равна 49,7, а низинных – 25,3 мг/дм³. Обобщение результатов опубликованных материалов ТПУ, ТФ ИГНГ СО РАН и ТЦ Томскгеомониторинг показало, что в болотных водах рассматриваемой территории присутствуют различные группы органических соединений – карбоновые кислоты, фенолы, ароматические и парафиновые углеводороды, органические фосфаты, фталаты и другие соединения, в том числе и вещества, идентифицируемые как «нефтепродукты». Концентрации последних могут превышать 0,3 мг/дм³, то есть ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения. Однако происхождение этой группы углеводородов, скорее всего, связано не с антропогенными, а природными факторами, поскольку, по данным С.Л. Шварцева и соавторов [7], в составе *н*-алканов в болотных водах незагрязненных участков преобладают парафины группы C_{25}:C_{33} с нечетным количеством атомов углерода. Согласно [8], это указывает на поступление значительной части парафиновых углеводородов в водную среду при разложении остатков болотной растительности.

Таблица 1. *Характеристика болотных вод Томской области [9], (в скобках – количество измерений)*

Показатели состава (мг/дм³) и свойств воды	Тип торфяного болота		
	Верховой	Переходный	Низинный
pH	4,41 (28)	5,17 (9)	6,59 (44)
Ca^{2+}	6,7 (28)	9,1 (9)	29,4 (44)
Mg^{2+}	1,4 (28)	5,2 (9)	12,8 (44)
Na^++K^+	1,4 (28)	2,9 (9)	15,5 (44)
HCO^{3-}	10,9 (28)	29,7 (9)	189,0 (44)
Cl^-	10,4 (28)	11,2 (9)	9,5 (44)
SO_4^{2-}	<1 (28)	<1 (9)	<1 (44)
$\Sigma_и$	30,9 (28)	58,1 (9)	247,5 (44)
Азот NH_4^+	2,58 (28)	1,86 (9)	0,86 (44)
Азот NO_2^-	0,017 (4)	0,010 (4)	0,045 (3)
Азот NO_3^-	2,07 (4)	2,91 (4)	2,72 (3)
Si	3,88 (4)	1,66 (4)	2,05 (3)
$Fe_{общ.}$	0,144 (28)	1,691 (9)	1,315 (44)
Cu	0,0010 (28)	0,0032 (9)	0,0015 (44)
Zn	0,0060 (28)	0,0082 (9)	0,0105 (44)
Pb	0,0007 (28)	0,0009 (9)	0,0009 (44)
Mn	0,039 (27)	0,073 (8)	0,052 (43)
Фенолы	0,015 (3)	<0,001 (3)	<0,001 (3)
Нефтепродукты	0,04 (3)	<0,01 (3)	0,05 (2)
ХПК, мгO_2/дм³	93,1 (4)	123,7 (4)	134,9 (3)

Тем не менее, нельзя не учитывать, что в пределах заболоченных участков рассматриваемой территории интенсивно добываются нефть и газ, прокладываются трубопроводы и автодороги, а в 1970–1980-е гг. было построено несколько десятков осушительных систем. В связи с этим целесообразно выявить изменения в состоянии болотных вод в результате хозяйственной деятельности и их возможное влияние на состояние других водных объектов. С этой целью нами было проведено обобщение материалов ТПУ, ТЦ Томскгеомониторинг, ТФ ИГНГ СО РАН, НИИББ при ТГУ, ОГУ «Облкомприрода» и других организаций, включая данные собственных исследований [9–13] и опубликованные сведения других авторов [6, 7, 14, 15]. Анализ полученных результатов, частично представленных в таблице 3, показал, что при осушении или рекультивации загрязненных участков верховых болот происходит трансформация химического состава болотных вод по типу, характерному не для верховых, а для низинных болот. Кроме того, было установлено, что при сбросе сточных вод в болота или аварийных разливах нефти и минерализованных вод, используемых для поддержания пластового давления, изменения в химическом составе болотных вод обычно наблюдаются в пределах 100...300 м от источника загрязнения, причем наиболее существенные отклонения содержаний от обычных для конкретного типа болот и комплекса преобладающих микроландшафтов значений достаточно часто прослеживаются на локальных участках до нескольких десятков метров [11, 12].

Таблица 2. *Влияние болотных микроландшафтов на интенсивность водообмена и химический состав вод (усредненные данные)*

Показатель	Тип болота							
	Верховой					Переходный	Низинный	
	Преобладающие микроландшафты							
	ГМОК, линейные формы	ГМОК, нелинейные формы	сосново-сфагновые	сфагново-кустарничковые	топи на сфагновых болотах	древесно-моховотравяные	древесно-моховотравяные	мохово-травяные
q_z, л/с·км	2,24	0,69	0,98	1,71	1,75	1,35	7,00	1,68
M_z, см²/с	5,76	1,59	1,42	10,88	12,00	1,95	180,00	43,20
pH	4,6	4,3	4,6	5,5	4,1	5,0	4,6	6,6
	мг/дм³							
Ca^{2+}	12,0	2,2	13,3	10,8	1,0	3,1	20,0	41,0
Mg^{2+}	7,0	2,7	2,5	5,5	<1,0	5,2	24,4	14,0
Na^++K^+	4,1	4,8	15,2	5,6	9,0	13,8	0,0	16,1
HCO_3^-	14,5	28,6	82,1	22,4	5,0	49,3	122,0	227,2
SO_4^{2-}	0,8	<1,0	2,1	<1	16,8	0,0	2,0	1,1
Cl^-	6,3	15,8	8,7	3,0	1,5	15,0	21,3	7,6
$\Sigma_и$	37,3	59,8	124,0	47,3	33,3	86,4	189,7	307,0
$Fe_{общ.}$	3,603	0,100	5,028	1,812	0,470	–	1,500	9,942
ХПК, мгO_2/дм³	214,52	126,50	125,21	89,32	64,40	–	133,40	117,87

q_z – средняя многолетняя величина проточности; M_z – средний многолетний модуль проточности; ГМОК – грядово-мочажинные, грядово-озерковые и грядово-мочажинно-озерковые комплексы; таблица составлена по данным [5, 9–12, 16]

Влияние заболоченности речного водосбора на гидрохимический сток

Обобщение имеющихся сведений о химическом составе болотных, речных и подземных вод показало, что при отсутствии или незначительном про-

явлении антропогенных воздействий суммарное содержание растворенных солей на территориях распространения верховых болот убывает в ряду «подземные – речные – болотные воды», а на территориях развития низинных болот – «подземные – болотные – речные». Следует отметить, что на границе болотных и лесных ландшафтов происходит интенсивное насыщение поверхностных вод различными неорганическими и органическими веществами, что объясняется (в случае верховых болот), во-первых, контактом кислых болотных вод, содержащих большое количество фульвокислот, с минеральным грунтом и последующим образованием водорастворимых и коллоидных комплексов. Во-вторых, на окраинах болот скапливается значительное количество воды, формируются ее направленные потоки, с которыми и выносятся образовавшиеся соединения. В-третьих, при движении потоков воды происходит размыв почвогрунтов и формирование стока наносов, сопровождающееся увеличением площади контакта воды и частиц породы, сорбцией на поверхности последних некоторых веществ и т.д. [10].

Таблица 3. *Изменение химического состава болотных вод в результате антропогенного воздействия*

Тип болота	Фитоценоз	Состояние болота при антропогенном воздействии: химическом	мелиоративном	$\Sigma_и$, мг/дм^3	Cl^-, мг/дм^3	ХПК, мгO_2/дм^3	Кол-во проб
Низинный	Гипново-осоковый осоково-гипновый	Незагрязненное	Неосушенное	300	7,7	–	25
Верховой	Сфагново-кустарничковый	Незагрязненное	Неосушенное	46	2,9	87	10
Верховой	Сосново-сфагново-кустарничковый	Незагрязненное	Неосушенное	55	7,2	–	9
Верховой	ГМОК	Незагрязненное	Неосушенное	50	12,5	–	11
Низинный	Гипново-осоковый	Загрязненное	Неосушенное	1061	102,5	420	5
Верховой	ГМОК	Слабо загрязненное	Неосушенное	50	8,5	130	10
Верховой	ГМОК	Загрязненное	Неосушенное	925	527,3	251	4
Верховой	Рекультивированный	Загрязненное	Неосушенное	493	176,3	100	2
Верховой	Сосново-сфагново-кустарничковый	Незагрязненное	Осушенное	319	15,4	139	3
Верховой	Сосново-сфагново-кустарничковый	Незагрязненное	Гарь на осушенном участке	269	2,6	643	3

В антропогенно измененных болотных ландшафтах указанные выше тенденции распределения содержаний растворенных солей в болотных, речных и подземных водах нарушаются. Так, в водах Обского болота $\Sigma_и$ увеличивается относительно среднего значения, полученного Н.М. Рассказовым с соавторами [5] в 1960-е гг., примерно в два раза и превышает сумму главных ионов в подземных водах, подстилающих торфяную залежь. В водах верховых болот бассейна р. Васюгана в пределах распространения грядово-озерковых и грядово-мочажинных комплексов $\Sigma_и$ по сравнению с "фоновыми" участками возрастает почти в 20 раз. И для естественных, и для антропогенно измененных болотных ландшафтов характерно наличие связи между заболоченностью водосбора и соотношением площадей верховых и низинных болот и основными гидрохимическими показателями водотоков, формирующихся на этой территории. Как показало сопоставление среднемноголетних гидрохимических характеристик по рекам Кеть, Пайдугина, Тым, Кенга, Чузик, Бакчар, Андарма, Икса, Парбиг и Шегарка, $\Sigma_и$ и общее содержание органических веществ по величине ХПК в болотных водах тем выше, чем больше распространение в пределах водосбора низинных болот. Снижение содержаний макрокомпонентов и значений ХПК может наблюдаться и при уменьшении общей заболоченности, и при увеличении в ее структуре доли верховых болот (табл. 4).

Таблица 4. *Параметры зависимости $Y=a_0+a_1F_{бол.}+a_2f_{вб}$ между значениями модуля водного стока M_Q, величинами $\Sigma_и$, ХПК, содержанием Fe, общей заболоченностью водосбора $F_{бол.}$ (% от площади водосбора) и долей в ее структуре верховых болот $f_{вб}$ (% от площади болот)*

Параметр	Функция Y: M_Q	$\Sigma_и$	ХПК	Fe
a_0	6,282±0,698	198,013±75,3	8,215±3,649	0,2455±0,1028
a_1	–0,164±0,022	5,956±2,369	1,653±0,178	–
a_2	0,123±0,015	–6,301±1,576	–0,586±0,118	0,0085±0,0035
Критерий качества S/σ	0,26	0,53	0,28	0,76

Значения $F_{бол.}$ взяты из [17], а $f_{вб}$ приближенно рассчитаны по карте торфяных месторождений Западной Сибири [18]; a_0, a_1, a_2 – коэффициенты регрессии; Y – один из четырех показателей: M_Q, $\Sigma_и$, ХПК, Fe; $S/\sigma=\left(\sum_{i=1}^{N}(Y_ф-Y_р)^2\right)\Big/\left(\sum_{i=1}^{N}(Y_ф-\bar{Y}_ф)^2\right)$, *где $Y_р$, $Y_ф$, $\bar{Y}_ф$ – расчетное, фактическое и среднее фактическое значения исследуемого показателя; зависимость считается удовлетворительной при $S/\sigma\leq0,8$*

Таблица 5. *Анализ гидрохимических показателей*

Показатель	Вариант расчета	$\Sigma_и$	Углерод органических соединений $C_{орг}$	$Fe_{общ.}$
Содержание, мг/дм^3	I	227,9	17,1	0,45
	II	198,0	3,1	0,25
Сток, тыс. т/год	I	239,0	24,6	1,09
	II	442,7	6,9	0,40
Изменение стока за счет заболоченности, тыс. т/год		–203,7	17,8	0,69
Модуль стока, т/год·км^2	I	22,7	2,1	0,08
	II	39,4	0,6	0,05
Изменение модулей стока за счет заболоченности, т/год·км^2		–16,7	1,5	0,03

Варианты расчета: I – настоящее время; II – в предположении отсутствия болот на водосборных территориях

Используя полученные зависимости между содержанием и характеристиками заболоченности, нами было оценено изменение ионного стока, стока соединений железа и органических веществ по $C_{орг.}$ с равнинной территории бассейна Средней Оби в пределах Томской области при следующих допущениях: 1) при отсутствии болот значения M_Q, $\Sigma_и$, ХПК и содержание Fe принимаются равными константам в уравнении регрессии (табл. 4); 2) средние значения изменения модулей гидрохимического стока могут быть распространены на всю территорию Томской области. Необходимо отметить, что площадь болот на территории Томской области определена согласно [19], что примерно в 1,5 раза меньше ожидаемого значения. Следовательно, результаты вычислений также могут быть занижены примерно в 1,5 раза. Проведенные расчеты показали, что для рассмотренных рек изменение гидрохимического стока за счет заболоченности заключается в следующем (табл. 5): 1) в снижении ионного стока на 16,7 т/год·км^2; 2) в увеличении стока ОВ на 1,5 тС/год·км^2, а железа – на 0,03 т/год·км^2. В целом для стока Средней Оби (в створе с. Александровского) влияние заболоченности обусловливает снижение ионного стока на 7 %, увеличение стока $C_{орг.}$ на 12 %, железа – на 5 %.

Выводы

1. Гидрохимические показатели притоков Средней Оби зависят от общей заболоченности водосборов и соотношения площадей верховых и низинных болот.
2. Осушение и рекультивация загрязненных участков верховых болот приводят к трансформации химического состава их вод по типу, характерному для низинных болот с достаточно резким увеличением доли HCO_3^- и Ca_2^+, в связи с чем следует ожидать и увеличение гидрохимического стока с подобных территорий.
3. Влияние хозяйственной деятельности на состояние болотных вод проявляется пока лишь на локальных участках и не влияет на состояние болот региона в целом, что позволяет рассматривать их как природный, а не природно-техногенный фактор формирования химического состава речных вод и гидрохимического стока с рассматриваемой территории.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 167, грантов Минпромнауки РФ № НШ-1566.2003.05.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. – Тула: Гриф и Ко, 2001. – 584 с.
2. Инишева Л.И., Инишев Н.Г. Элементы водного баланса и гидрохимическая характеристика олиготрофных болот южно-таежной подзоны Западной Сибири // Водные ресурсы. – 2001. – № 4. – С. 410–417.
3. Базанов В.А., Савичев О.Г. Экологические аспекты при хозяйственной деятельности на заболоченных землях таежной зоны Западной Сибири // Почвы – национальное достояние России. Матер. IV Докучаевского общества почвоведов: в 2-х кн. – Новосибирск: Наука-Центр, 2004. – Кн. 1. – С. 377–379.
4. Шварцев С.Л., Савичев О.Г., Вертман Г.Г. и др. Эколого-геохимическое состояние речных вод Средней Оби // Водные ресурсы. – 1996. – № 6. – С. 723–731.
5. Рассказов Н.М., Удодов П.А., Назаров А.Д., Емельянова Т.Я. Болотные воды Томской области // Известия Томского политехнического института. – 1975. – Т. 297. – С. 102–117.
6. Березин А.Е., Базанов В.А., Волостнов Д.В., Шинкаренко В.П. Влияние старых шламовых амбаров на экологическую ситуацию вмещающих территорий // Охрана природы / Под ред. А.Е. Березина. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – С. 21–43.
7. Шварцев С.Л., Рассказов Н.М., Сидоренко Т.Н., Здвижков М.А. Геохимия природных вод района Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / Под ред. М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. – С. 139–149.
8. Берлин Ю.М., Верховская З.И., Егоров А.В. Нормальные алканы и изопреноидные углеводороды в донных осадках Карского моря // Океанология. – 1999. – № 2. – С. 228–232.
9. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2001 г. / Под ред. В.А. Льготина. – Томск: ТЦ «Томскгеомониторинг», 2002. – Вып. 4. – 82 с.
10. Савичев О.Г., Базанов В.А., Здвижков М.А. Химический состав природных ландшафтов с разной степенью антропогенной нагрузки // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: Труды Всеросс. научн. конф. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2003. – С. 274–276.
11. Базанов В.А., Савичев О.Г., Егоров Б.А., Крутовский А.О. Антропогенные изменения макрокомпонентного состава болотных вод на территории Томской области // Болота и биосфера: Материалы второй научной школы. – Томск: Изд-во Томск. гос. пед. ун-та, 2003. – С. 94–101.
12. Базанов В.А., Савичев О.Г., Волостнов Д.В. и др. Влияние шламовых амбаров на геохимическое состояние болотных экосистем в бассейне реки Васюган // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 2. – С. 72–75.
13. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2002 г. / Под ред. В.А. Льготина. – Томск: ТЦ «Томскгеомониторинг», 2003. – Вып. 5. – 84 с.
14. Седых В.Н. Леса Западной Сибири и нефтегазовый комплекс. – М.: Экология, 1996. – 36 с.
15. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
16. Иванов К.Е. Водообмен в болотных ландшафтах. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 280 с.
17. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 15. – Вып. 2. Алтай и Западная Сибирь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 408 с.
18. Карта торфяных месторождений Западной Сибири масштаба 1:1000000 / Под ред. Р.Г. Матухина. – Новосибирск: СО РАН, 2000. – 33 с.
19. Дюкарев А.Г. Земельный фонд, его качественный состав и использование // Природные ресурсы Томской области / Под ред. И.М. Гаджиева и А.А. Земцова. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 7–25.